

泊発電所 1 号炉 審査資料	
資料番号	HTN1-PLM30(冷停)-耐震 改 1
提出年月日	平成 31 年 1 月 25 日

泊発電所 1 号炉 高経年化技術評価  
(耐震安全性評価)

補足説明資料

平成 31 年 1 月 25 日  
北海道電力株式会社

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	4
3.1 評価対象	4
3.1.1 耐震安全性評価対象機器	4
3.1.2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出	4
3.2 評価手法	7
3.2.1 主な適用規格	7
3.2.2 冷温停止状態が維持されることを前提とした評価における劣化評価期間	7
3.2.3 耐震安全性評価の評価手法	9
3.3 評価用地震力	13
3.4 評価用地震動	14
3.5 代表の選定	17
4. 代表の耐震安全性評価	19
4.1 耐震安全性評価	19
4.1.1 低サイクル疲労	19
4.1.2 高サイクル熱疲労	20
4.1.3 中性子照射脆化	20
4.1.4 熱時効	21
4.1.5 中性子照射による靱性低下	21
4.1.6 中性子及び $\gamma$ 線照射脆化	22
4.1.7 応力腐食割れ	22
4.1.8 摩耗	23
4.1.9 流れ加速型腐食	23
4.1.10 全面腐食	24
4.1.11 動的機能維持に係る耐震安全性評価	25
4.1.12 照射誘起型応力腐食割れ	27
4.2 現状保全	28
4.3 総合評価	28
5. まとめ	29
5.1 審査ガイド適合性	29
5.2 保守管理に関する方針として策定する事項	33

別紙 1.	建設後の耐震補強の実績について	1-1
別紙 2.	耐震安全性評価に用いる現行の JEAG4601 以外の値を適用した ケースについて	2-1
別紙 3.	冷温停止状態における耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の 発生・進展について	3-1
別紙 4.	機器・配管に係る，比率で示された耐震安全性評価結果 (疲労累積係数を除く) について	4-1
別紙 5.	主蒸気管の伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性評価について	5-1
別紙 6.	アンカーサポート取付部 (余熱除去系統配管) の疲労割れに対する 耐震安全性評価について	6-1
別紙 7.	余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れに対する耐震安全性評価 について	7-1
別紙 8.	原子炉容器の中性子照射脆化に対する耐震安全性評価について	8-1
別紙 9.	炉心そうの中性子照射による靱性低下に対する耐震安全性評価について	9-1
別紙 10.	原子炉容器サポート (サポートブラケット (サポートリブ)) の 中性子及び $\gamma$ 線照射脆化に対する耐震安全性評価について	10-1
別紙 11.	低水質廃液蒸発装置 (蒸発器胴板) の応力腐食割れに対する 耐震安全性評価について	11-1
別紙 12.	蒸気発生器支持脚 (ヒンジ摺動部) の摩耗に対する耐震安全性評価 について	12-1
別紙 13.	主蒸気系統配管他の内面からの腐食 (流れ加速型腐食) に対する 耐震安全性評価について	13-1
別紙 14.	ディーゼル機関空気冷却器伝熱管他の内面腐食 (流れ加速型腐食) に対する耐震安全性評価について	14-1
別紙 15.	制御用空気だめ他の腐食 (全面腐食) に対する耐震安全性評価について	15-1
別紙 16.	バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが抽出されない理由 について	16-1

#### 4.1.12 照射誘起型応力腐食割れ

バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れについては、「高経年  
化対策上着目すべき経年劣化事象であるが、現在発生しておらず、今後も発  
生の可能性がないもの、または小さいもの」と分類し、耐震安全性評価は不  
要と判断している。その根拠を別紙16に示す。

タイトル	炉心そうの中性子照射による靱性低下に対する耐震安全性評価について						
説明	<p>中性子照射による材料の靱性低下が想定される炉心そう溶接部に有意な欠陥が存在すると仮定し、<math>S_s</math>地震発生時の荷重を考慮して求めた応力拡大係数 <math>K</math> と、中性子照射を受けたステンレス鋼の <math>J_{IC}</math> 値から換算した破壊靱性値 <math>K_{IC}</math> とを比較することにより耐震安全性評価を行っている。評価の具体的内容を以下に示す。</p> <p>1. 解析条件</p> <p>(1) 想定欠陥</p> <p>想定欠陥は設計・建設規格を準用し、表 9-1 のとおりとした。</p> <div style="text-align: center;"> <p>表 9-1 想定した亀裂形状</p> <table border="1" data-bbox="632 913 1121 1010"> <thead> <tr> <th>亀裂方向</th> <th>亀裂長さ</th> <th>亀裂深さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>周方向</td> <td>1.5t</td> <td>1/4t</td> </tr> </tbody> </table> <p>t : 炉心そう板厚 (=51.6 mm)</p> </div> <p>亀裂の想定部位（評価部位）は、図 9-1 に示すとおり、溶接部に亀裂が想定されることから、下部炉心そう上部胴と下部胴の溶接部とした。</p>	亀裂方向	亀裂長さ	亀裂深さ	周方向	1.5t	1/4t
亀裂方向	亀裂長さ	亀裂深さ					
周方向	1.5t	1/4t					

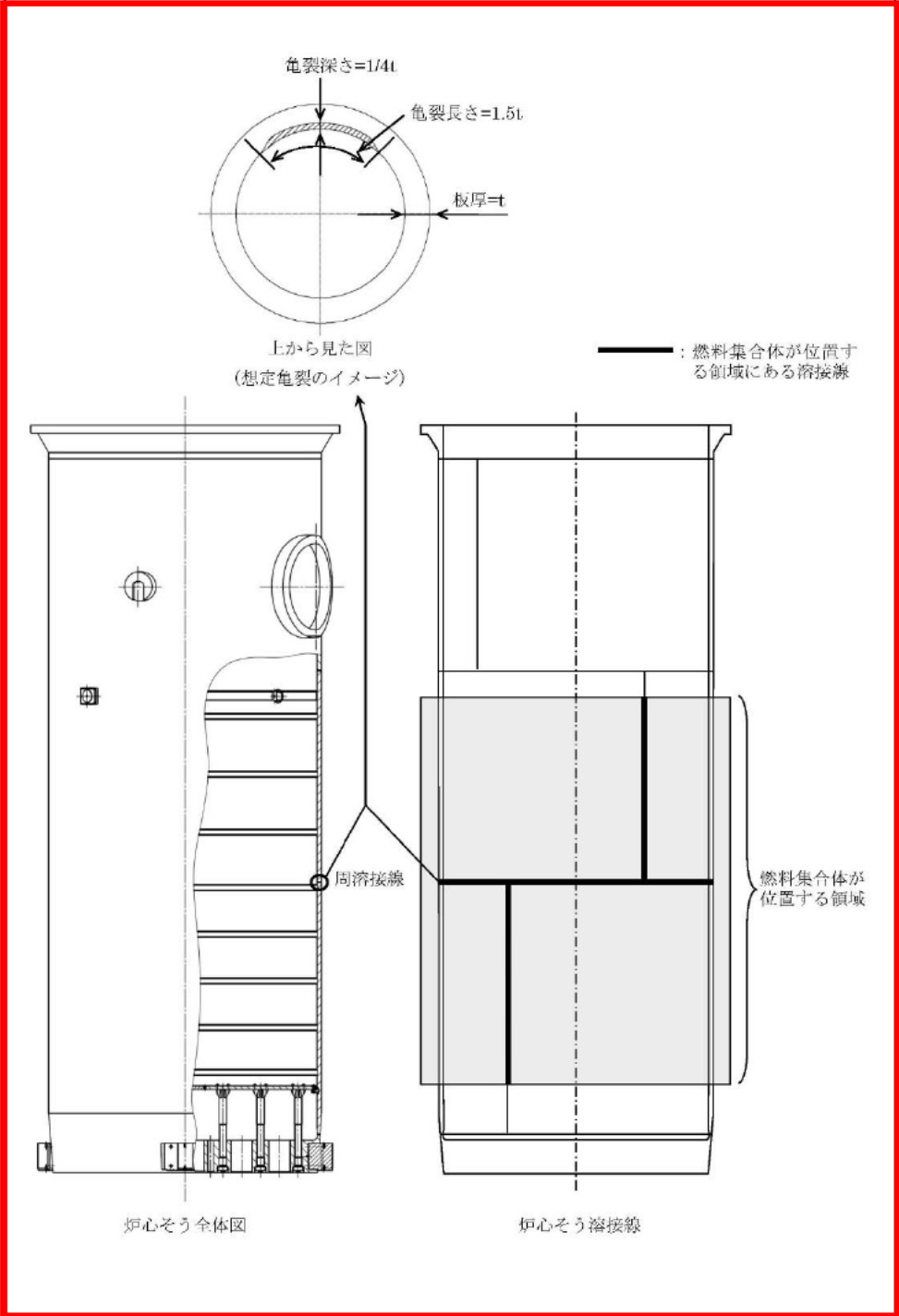


図 9-1 炉心そうにおける想定欠陥部位

(2) 応力条件

地震荷重は、水平方向地震荷重及び鉛直方向地震荷重ともスペクトルモード解析で算出した。使用した水平方向耐震解析モデル及び鉛直方向耐震解析モデルをそれぞれ図 9-2 及び図 9-3 に示す。

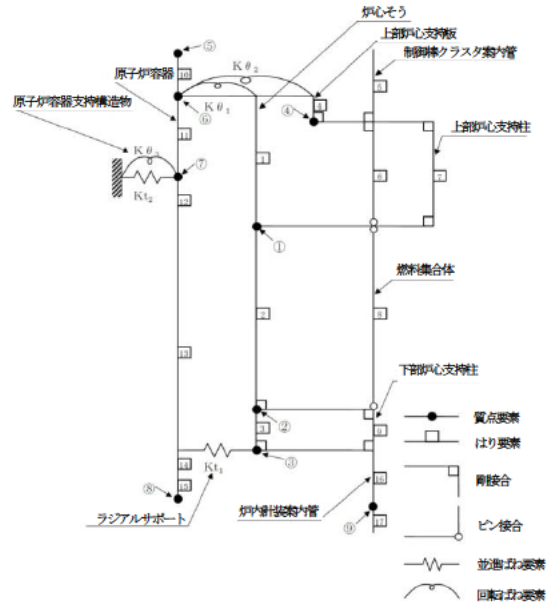


図 9-2 水平方向耐震解析モデル

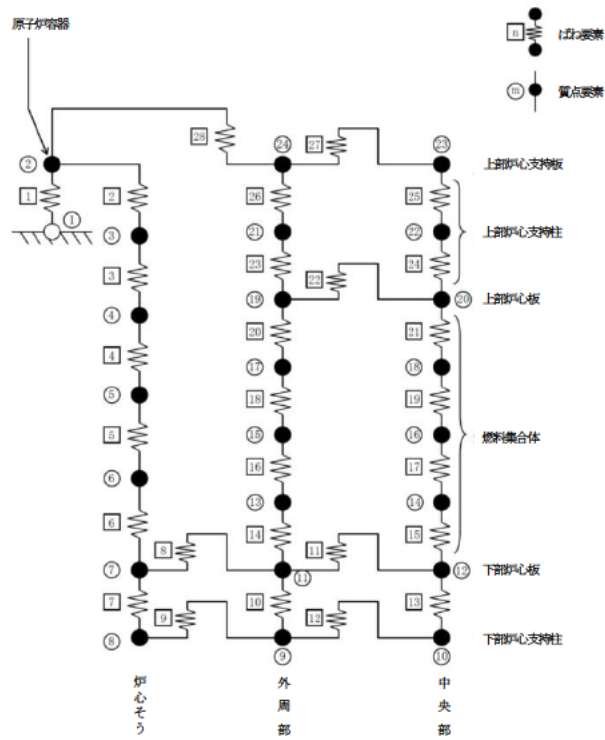


図 9-3 鉛直方向耐震解析モデル



評価位置に作用する機械荷重，熱荷重， $S_s$ 地震時の荷重による各応力の重ね合わせで評価した。評価に用いた応力条件を表 9-2 に示す。

表 9-2 応力条件 (単位：MPa)

機械荷重による応力	引張応力	7.3
	曲げ応力	0.0
熱荷重による応力	引張応力	0.0
	曲げ応力 <sup>※1</sup>	10.6
$S_s$ 地震による応力	引張応力	7.3
合計	引張応力 $\sigma_m$	14.6
	曲げ応力 $\sigma_b$	10.6

※1：炉心そのの内外面の温度差により生じる曲げ応力

### (3) 解析モデル

炉心そのの平均半径  $R_m$  の板厚  $t$  に対する比「 $R_m/t$ 」は約 30 と大きいことから，炉心その胴部は亀裂付き平板で近似している。図 9-4 に平板近似モデルを示す。また，表 9-3 に平板近似した想定欠陥の寸法を示す。

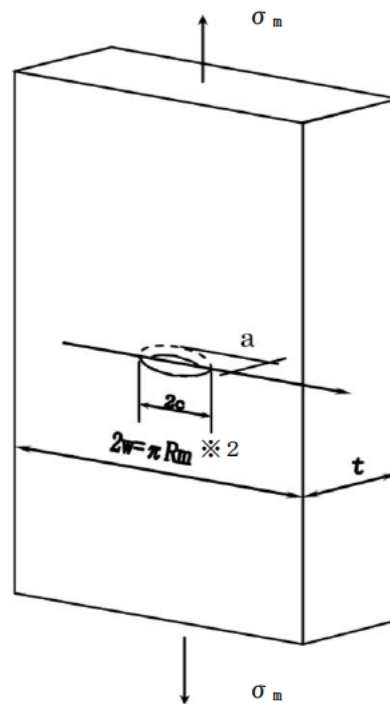


図 9-4 想定欠陥の平板近似モデル

※2 Raju-Newman の式において、板幅  $w$  が小さいほど、平板端部の影響を受けて応力拡大係数は大きくなる。円筒形状である炉心そうを平板にて模擬するため、端部があるわけではないので、平板端部の影響を考慮する必要はないと考え、十分に大きな幅として半周分に設定している。

なお、Raju-Newman の式の適用範囲として、亀裂半長  $c$  と板幅  $w$  の関係が  $c/w < 0.5$  ( $w > 2c$ ) と規定されている。仮に、最も板幅が小さく、平板端部の影響を受ける  $w = 2c$  (77.4 mm) とした場合でも、応力拡大係数は  $4.9 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  となり<sup>(※3)</sup>、応力拡大係数に対する板幅の影響が軽微で、許容値 ( $51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ) に対して十分な裕度があることを確認している。

※3  $2w = \pi R_m$  (4,430.6 mm) の場合、応力拡大係数は  $4.7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

表 9-3 想定した亀裂の寸法

	亀裂長さ 2c	亀裂深さ a	板幅 2w	板厚 t
寸法 (mm)	77.4	12.9	4,430.6	51.6

## 2. 解析結果

### (1) 中性子照射を受けたステンレス鋼の破壊靱性値 (許容値)

評価に用いるステンレス鋼の破壊靱性値  $K_{IC}$  は、発電設備技術検査協会「平成8年度 プラント長寿命化技術開発に関する事業報告書」で得られたオーステナイト系照射ステンレス鋼の  $J_{IC}$  試験結果を用いて、 $J_{IC}$  最下限値  $14 \text{ kJ/m}^2$  から以下の換算式により算出した破壊靱性値  $K_{IC} = 51 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  とした。

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{1-\nu^2}} \times J_{IC}$$

$E$  : 縦弾性係数 (173,000 MPa at 350°C)

$\nu$  : ポアソン比 (0.3)

$J_{IC}$  : 破壊靱性値の下限 (14  $\text{kJ/m}^2$  at 350°C)

### (2) 地震時の応力拡大係数

応力拡大係数の算出は、以下のとおり、平板中の半楕円表面亀裂の応力拡大係数  $K$  を求める Raju-Newman の式\*を用いた。

\* : Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.

$$K = (\sigma_m + H \sigma_b) \sqrt{(\pi a/Q)} \cdot F$$

ここで、

$$Q = 1 + 1.464(a/c)^{1.65} \quad (a/c \leq 1)$$

$$F = \{M_1 + M_2(a/t)^2 + M_3(a/t)^4\} (1 - k^2 \cos^2 \phi)^{1/4} g \cdot f_w$$

$$M_1 = 1.13 - 0.09(a/c)$$

$$M_2 = -0.54 + 0.89/\{0.2 + (a/c)\}$$

$$M_3 = 0.5 - 1.0/\{0.65 + (a/c)\} + 14 \times \{1.0 - (a/c)\}^{24}$$

$$g = 1 + \{0.1 + 0.35(a/t)^2\}(1 - \sin \phi)^2$$

$$f_w = \left[ \sec \left\{ \frac{\pi c}{2w} \sqrt{(a/t)} \right\} \right]^{1/2}$$

$$k^2 = 1 - (a/c)^2$$

$$H = H_1 + (H_2 - H_1) \sin^p \phi$$

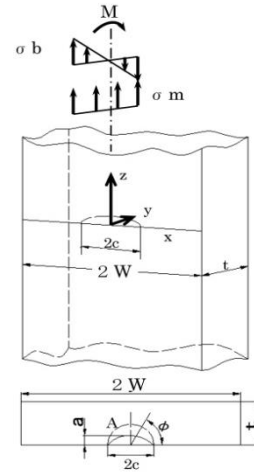
$$p = 0.2 + (a/c) + 0.6(a/t)$$

$$H_1 = 1 - 0.34(a/t) - 0.11(a/c)(a/t)$$

$$H_2 = 1 + G_1(a/t) + G_2(a/t)^2$$

$$G_1 = -1.22 - 0.12(a/c)$$

$$G_2 = 0.55 - 1.05(a/c)^{0.75} + 0.47(a/c)^{1.5}$$



<記号説明>

Q : 表面亀裂の形状補正係数

F : 応力拡大係数の補正係数

$\phi$  : 評価点の角度 (応力拡大係数が最大となる  $\frac{\pi}{2}$  (最深点) とする)

g : 解の定式化のための係数

$f_w$  : 有限板幅に関する補正係数

H : 曲げ応力の補正係数

$M_1, M_2, M_3, k, p, H_1, H_2, G_1, G_2$  : 数式項の置き換え記号

$\sigma_m$  : 引張応力

$\sigma_b$  : 曲げ応力

適用範囲 :  $0 < a/c \leq 1.0, 0 \leq a/t \leq 1.0, c/w < 0.5, 0 \leq \phi \leq \pi$

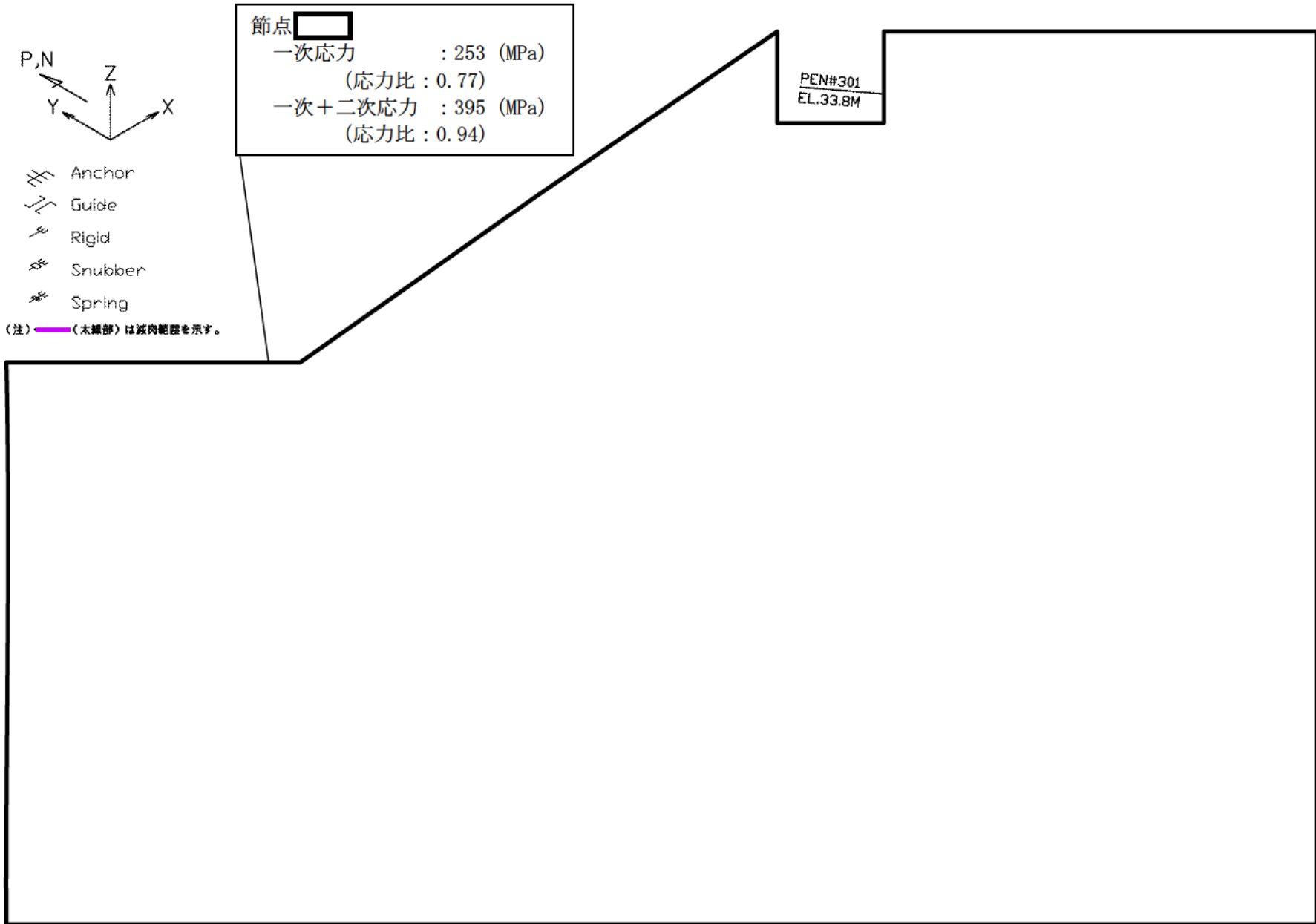
S<sub>s</sub>地震時の応力拡大係数  $K = 4.7 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  となり、照射ステンレス鋼の破壊靱性値  $51 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  を下回っており、不安定破壊は生じることはなく、耐震安全性評価上問題ない。

表 9-4 評価結果

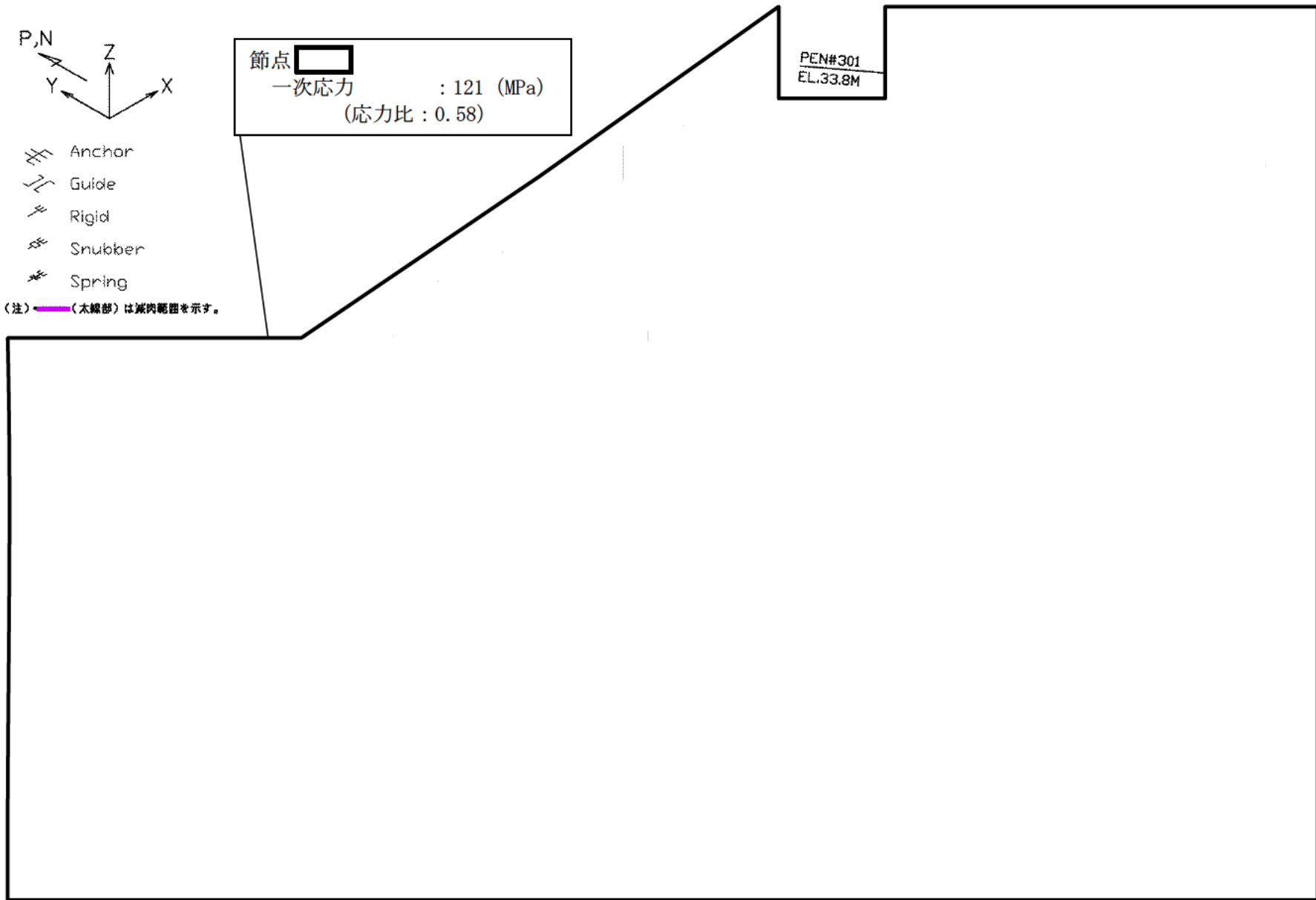
地震条件	応力拡大係数 K ( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ )	破壊靱性値 $K_{Ic}$ ( $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ )
S <sub>s</sub>	4.7	51

以上

タイトル	主蒸気系統配管他の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価について										
説明	<p>1. 評価対象ラインの抽出について</p> <p>泊1号炉の高経年化技術評価における「母管の内面からの腐食(流れ加速型腐食)」に対する耐震安全性評価は、日本機械学会「加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006）」（以下「技術規格」という。）等を反映した社内規程「泊発電所配管肉厚管理要則」で定める「流れ加速型腐食」の対象系統のうち、冷温停止状態の維持に必要なラインを抽出した。</p> <p>なお、耐震重要度が高く、配管の腐食（流れ加速型腐食）による配管減肉を考慮した耐震安全性評価の結果、発生応力と許容応力の比が最大となる主蒸気系統の炭素鋼配管を代表とし、以下に評価の詳細を示す。また、主蒸気系統以外の系統の配管（主給水系統、補助蒸気系統、蒸気発生器ブローダウン系統）の評価を添付－3，4に示す。</p> <p>2. 評価仕様</p> <p>主蒸気系統配管の評価仕様を表13-1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表13-1 評価仕様</p> <table border="1" data-bbox="448 1243 1329 1391"> <thead> <tr> <th>評価対象配管</th> <th>ライン数</th> <th>種別</th> <th>技術規格との対応</th> <th>減肉条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>主蒸気系統配管</td> <td>4</td> <td>FAC</td> <td>なし (知見拡充箇所)</td> <td>必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. 解析モデル</p> <p>(1) 解析手法 はりモデル解析</p> <p>(2) 解析モデル図 評価対象ラインのうち、高経年化技術評価書に代表で記載した応力比の厳しい箇所を含む範囲の解析モデル図を添付－1に示す。</p> <p>4. 評価結果 評価結果を添付－2に示す。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>	評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応	減肉条件	主蒸気系統配管	4	FAC	なし (知見拡充箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応	減肉条件							
主蒸気系統配管	4	FAC	なし (知見拡充箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)							

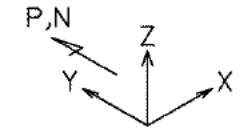






主蒸気系統配管 A-主蒸気配管 (CV外) 【Ss地震】



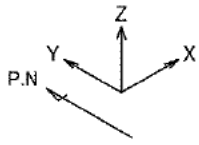
節点   
一次応力 : 121 (MPa)  
(応力比 : 0.58)






PEN#301  
EL.33.8M




-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring


(注) (太線部) は減肉範囲を示す。



-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

(注)  (太線部)は減肉範囲を示す。

PEN#303  
EL. 29.0m

節点   
 一次+二次応力 : 125 (MPa)  
 (応力比 : 0.37)

主蒸気系統配管 B-主蒸気配管 (CV内) 【S<sub>1</sub>地震】

泊1号炉 主蒸気系統配管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する  
耐震安全性評価結果一覧

系統分類	配管名称	耐震 重要度		応力種別	全箇所必要最小肉厚条件モデル		
					はりモデル評価		
					発生応力/ 許容応力*	応力比	評価
主蒸気系統	A-主蒸気配管 (CV内)	S	S <sub>s</sub>	一次	103/324	0.32	○
				一次+二次	112/336	0.33	○
			S <sub>1</sub>	一次	89/168	0.53	○
				一次+二次	112/336	0.33	○
	B-主蒸気配管 (CV内)	S	S <sub>s</sub>	一次	106/324	0.33	○
				一次+二次	89/336	0.26	○
			S <sub>1</sub>	一次	85/168	0.51	○
				一次+二次	125/336	0.37	○
	A-主蒸気配管 (CV外)	S	S <sub>s</sub>	一次	253/329	0.77	○
				一次+二次	395/418	0.94	○
			S <sub>1</sub>	一次	121/209	0.58	○
				一次+二次	139/418	0.33	○
	B-主蒸気配管 (CV外)	S	S <sub>s</sub>	一次	164/329	0.50	○
				一次+二次	221/418	0.53	○
			S <sub>1</sub>	一次	84/209	0.40	○
				一次+二次	61/418	0.15	○

※ 発生応力及び許容応力の単位はMPa

評価書に記載した評価結果



主蒸気系統配管以外の内面からの腐食（流れ加速型腐食）  
に対する耐震安全性評価について

1. 評価仕様

主蒸気系統配管以外の評価仕様を表13-3-1に示す。

表13-3-1 評価仕様

評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応	減肉条件
主給水系統配管	4	FAC	あり	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
補助蒸気系統配管	1	FAC	なし (知見拡充箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
蒸気発生器ブロー ダウン系統配管	2	FAC	あり	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)

2. 解析モデル

(1) 解析手法

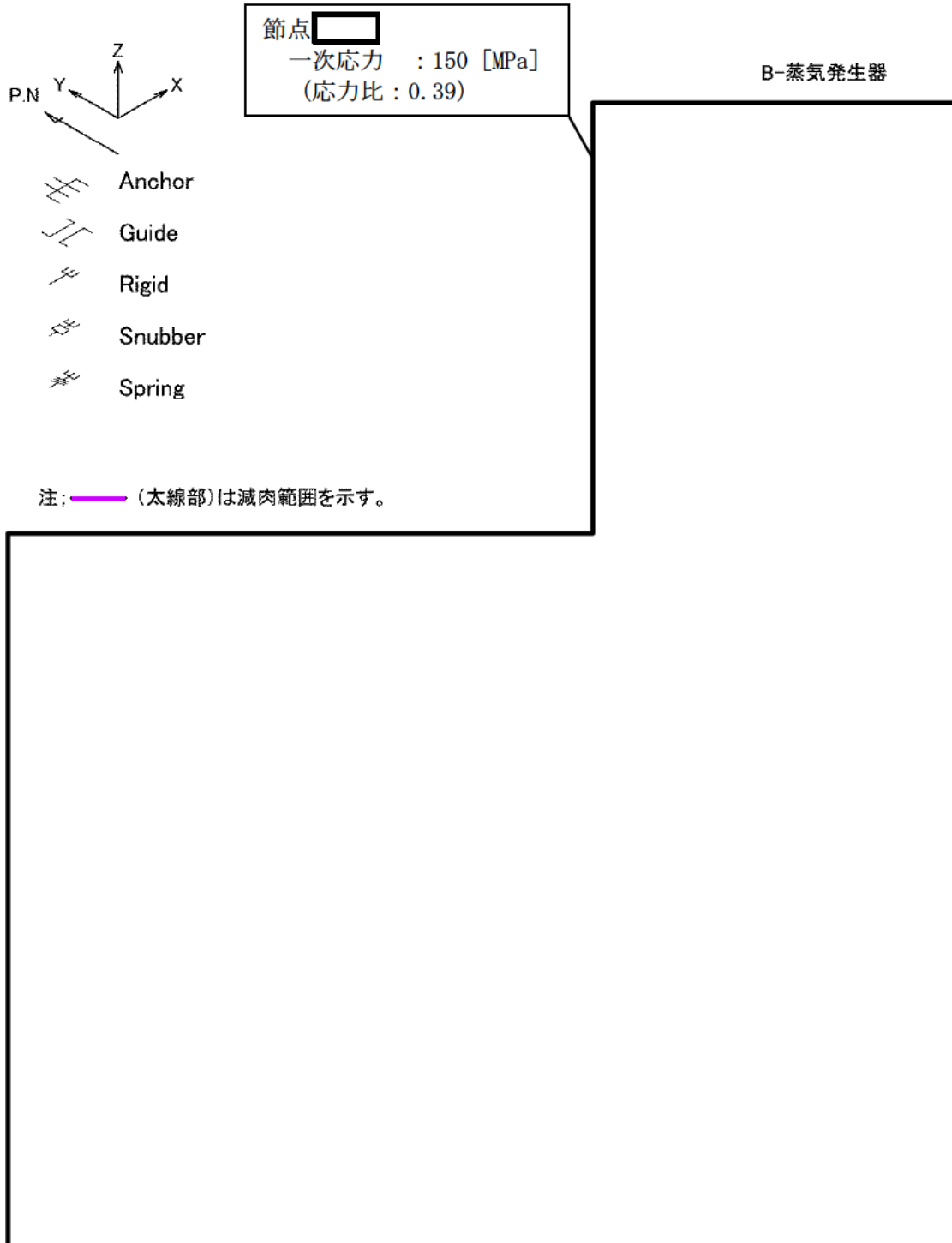
はりモデル解析

(2) 解析モデル図

評価対象ラインのうち、高経年化技術評価書に代表で記載した応力比の厳しい箇所を含む範囲の解析モデル図を次頁以降に示す。（補助蒸気系統配管は定ピッチスパン法による評価のため除く）






3. 評価結果


評価結果を添付-4に示す。



節点   
一次応力 : 150 [MPa]  
(応力比 : 0.39)

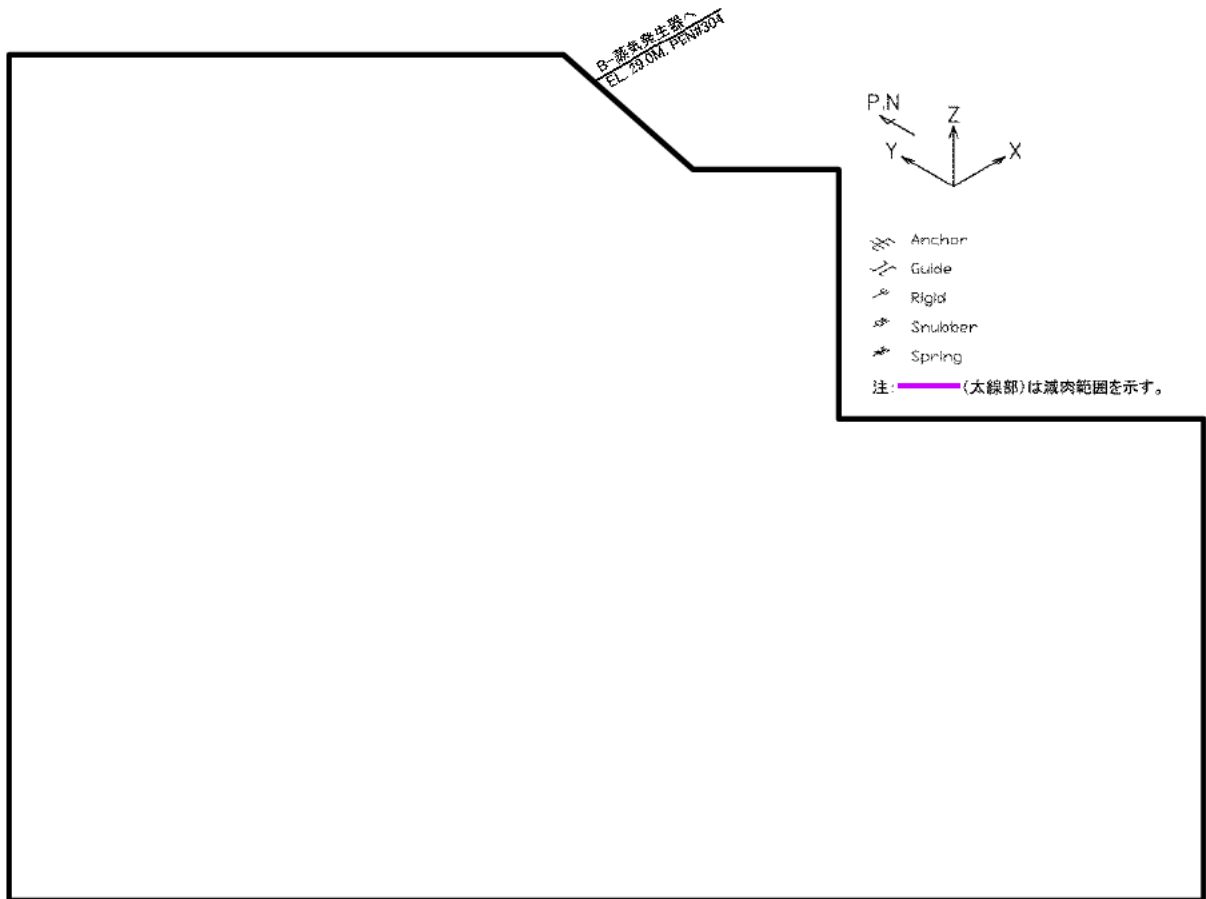
B-蒸気発生器

-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

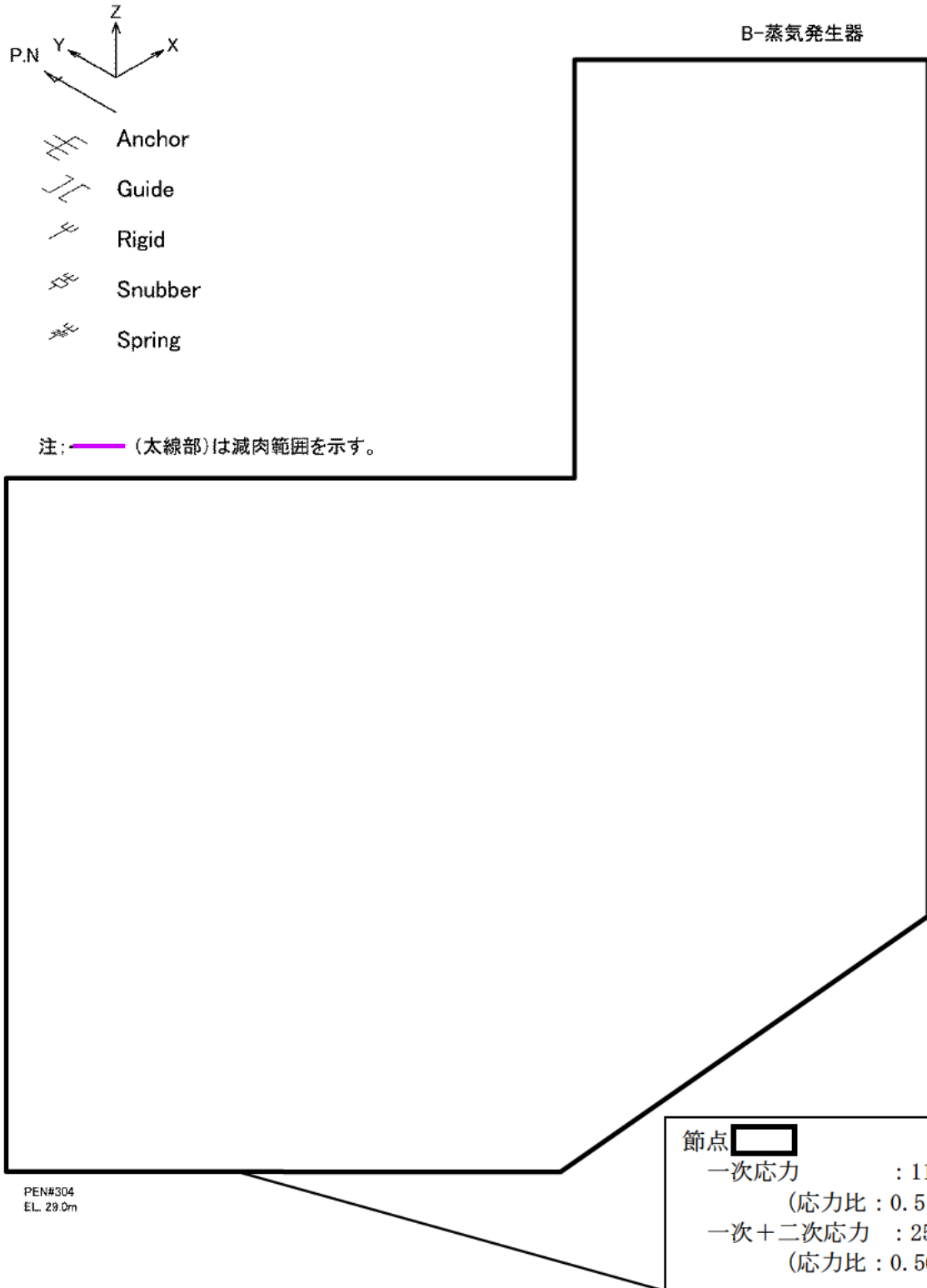
注:  (太線部)は減肉範囲を示す。

PEN#304  
EL. 29.0rn

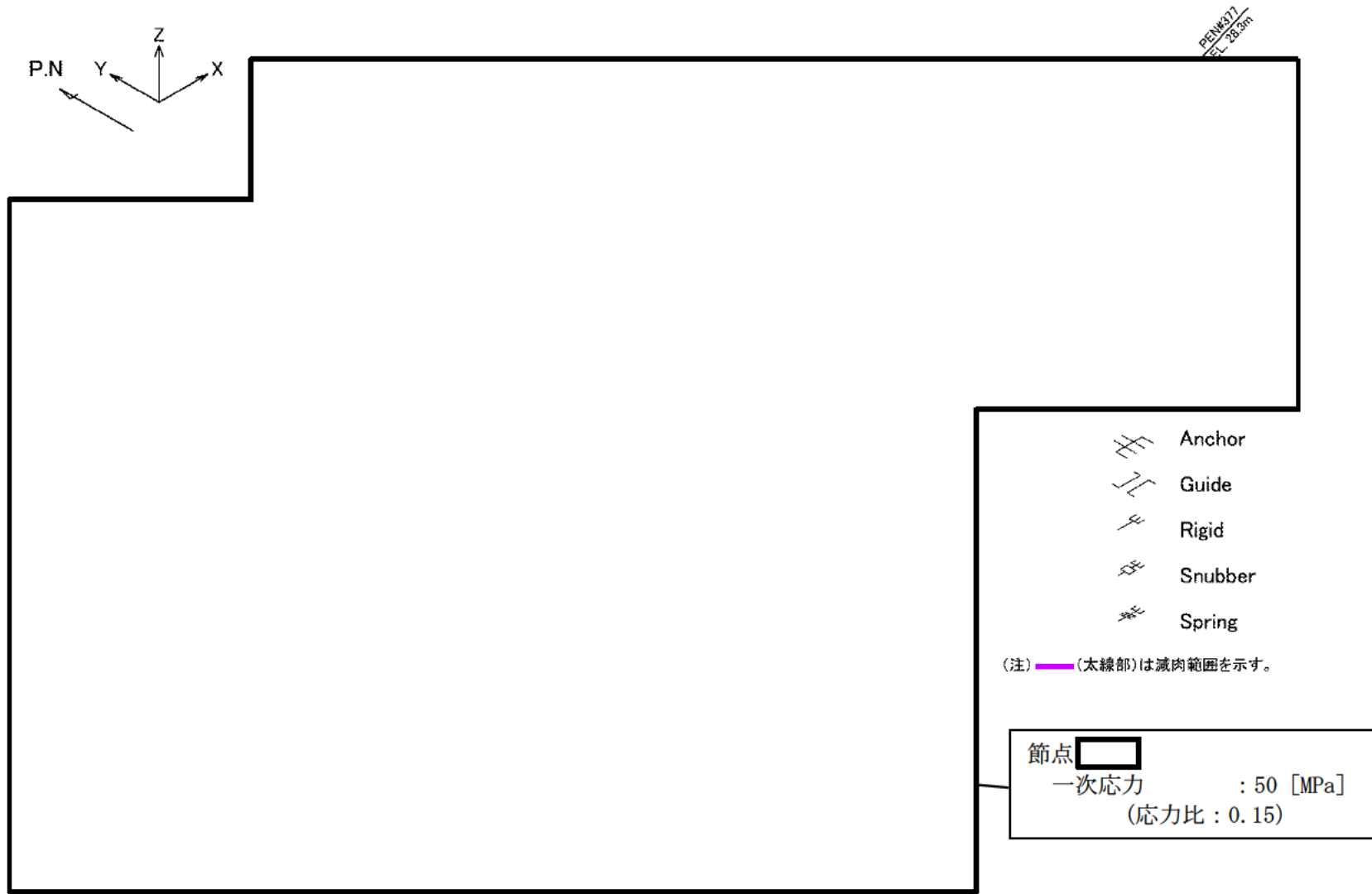
主給水系統配管 B-主給水配管 (CV内) 【Ss地震】



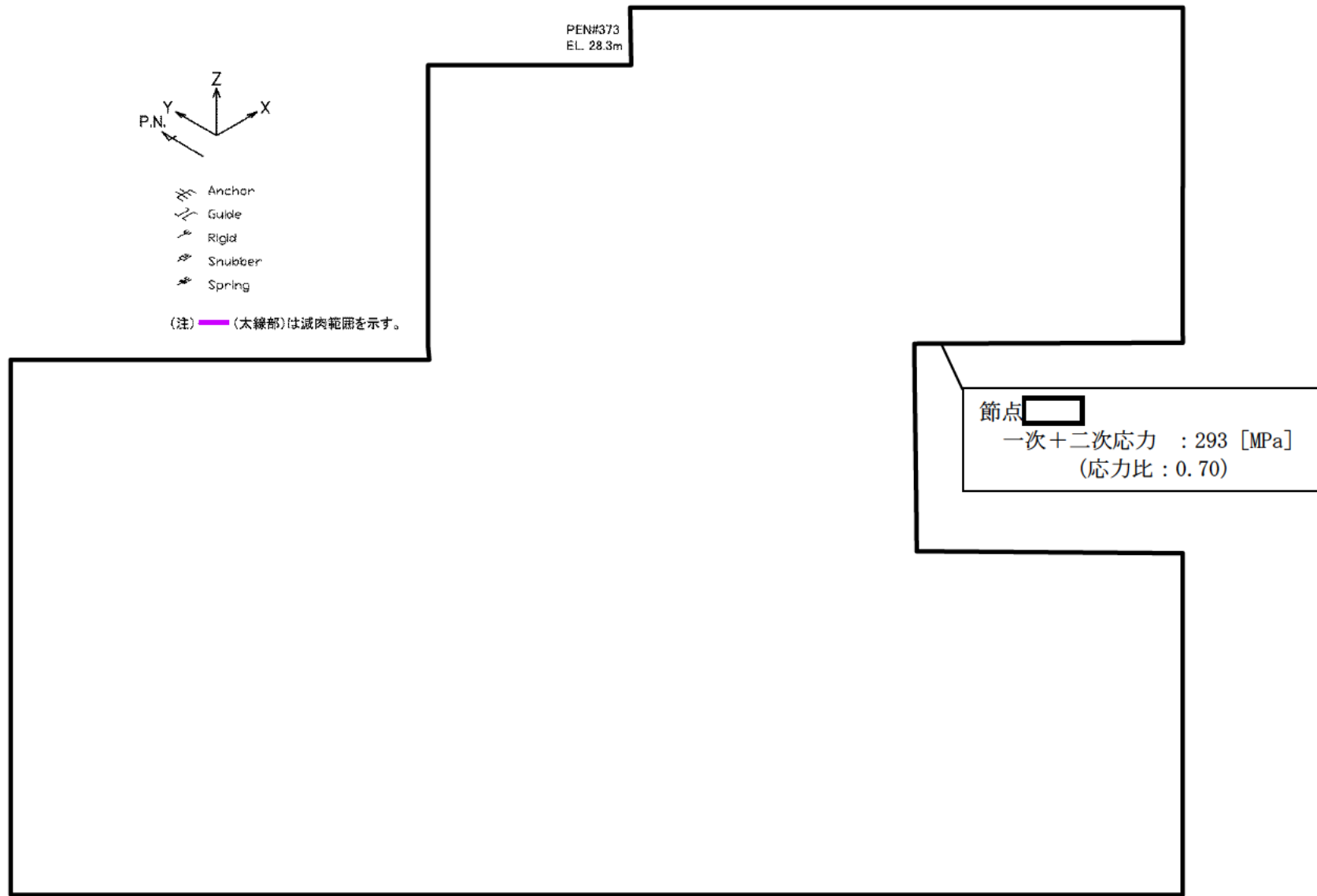
節点   
一次+二次応力 : 229 [MPa]  
(応力比 : 0.42)



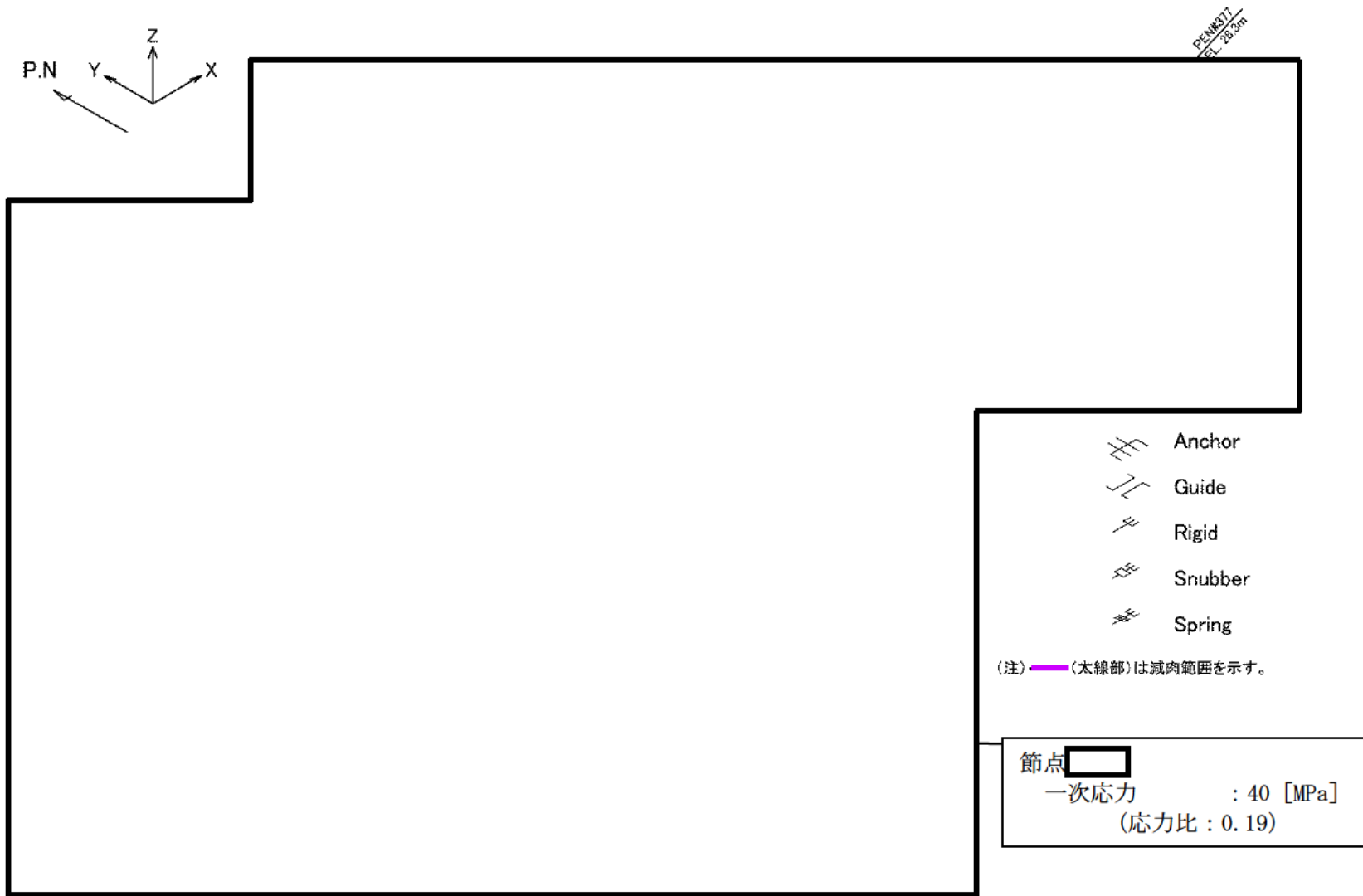
主給水系統配管 B-主給水配管 (CV内) 【S<sub>1</sub>地震】



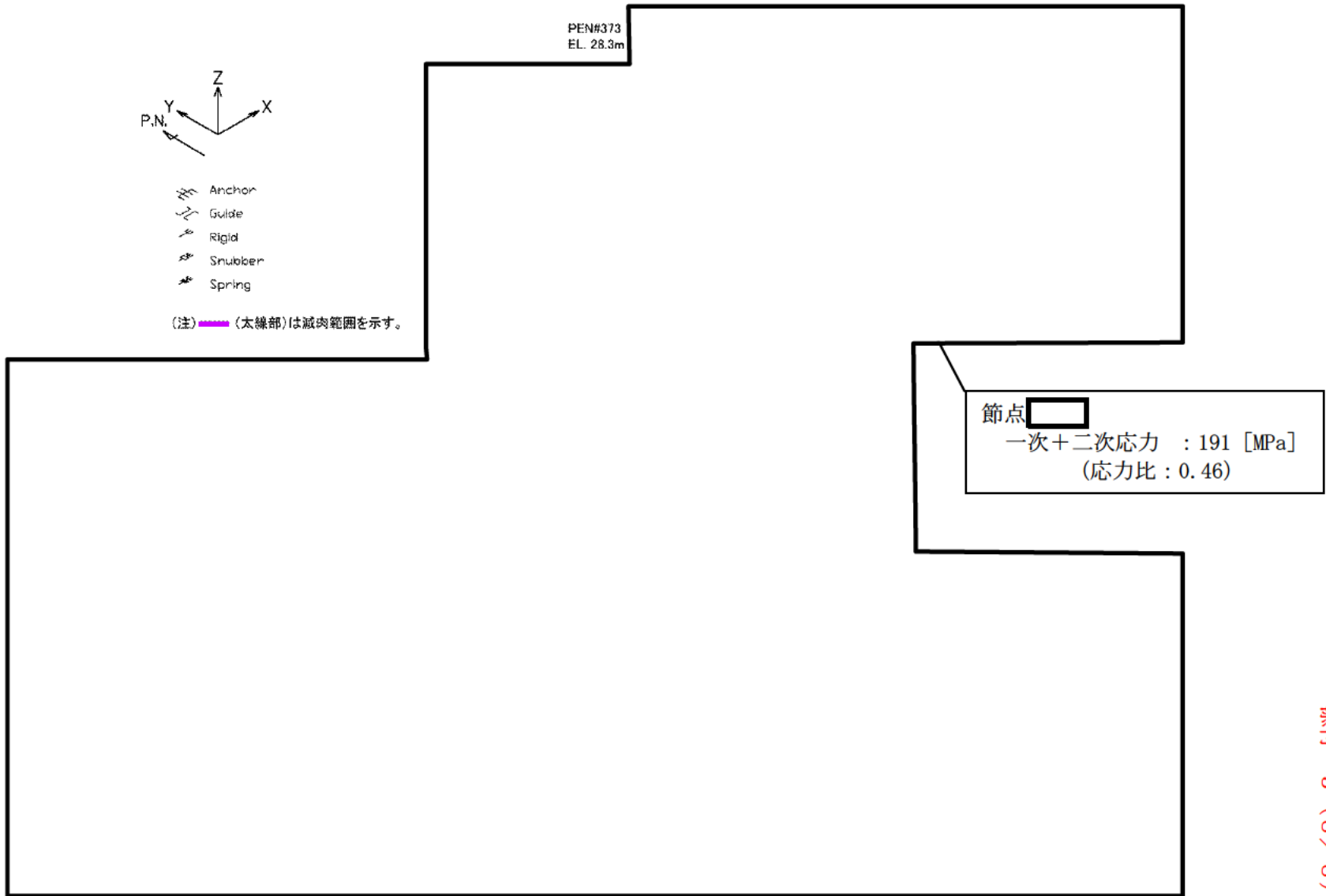
蒸気発生器ブローダウン系統配管 B-SGBD配管 (CV外) 【Ss地震】



蒸気発生器ブローダウン系統配管 A-SGBD配管 (CV外) 【Ss地震】



蒸気発生器ブローダウン系統配管 B-SGBD配管 (CV外) 【S<sub>1</sub>地震】



蒸気発生器ブローダウン系統 配管 A-SGBD配管 (CV外) 【S<sub>1</sub>地震】



泊1号炉 主蒸気系統配管以外の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する  
耐震安全性評価結果一覧

系統分類	配管名称	耐震 重要度		応力種別	全箇所必要最小肉厚条件モデル		
					はりモデル評価		
					発生応力/ 許容応力※	応力比	評価
主給水系統	A-主給水配管 (CV内)	S	S <sub>s</sub>	一次	130/380	0.34	○
				一次+二次	126/456	0.28	○
			S <sub>1</sub>	一次	92/228	0.40	○
				一次+二次	86/456	0.19	○
	B-主給水配管 (CV内)	S	S <sub>s</sub>	一次	150/380	0.39	○
				一次+二次	186/456	0.41	○
			S <sub>1</sub>	一次	116/228	0.51	○
				一次+二次	255/456	0.56	○
	A-主給水配管 (CV外)	S	S <sub>s</sub>	一次	61/426	0.14	○
				一次+二次	97/540	0.18	○
			S <sub>1</sub>	一次	45/270	0.17	○
				一次+二次	63/540	0.12	○
	B-主給水配管 (CV外)	S	S <sub>s</sub>	一次	133/426	0.31	○
				一次+二次	229/540	0.42	○
			S <sub>1</sub>	一次	69/270	0.26	○
				一次+二次	102/540	0.19	○
補助蒸気系統	補助蒸気配管 (1次系)	C	C	156/179	0.87	○	
蒸気発生器 ブローダウン 系統	A-SGBD配管 (CV外) CVBD内	S	S <sub>s</sub>	一次	47/329	0.14	○
				一次+二次	293/418	0.70	○
			S <sub>1</sub>	一次	38/209	0.18	○
				一次+二次	191/418	0.46	○
	B-SGBD配管 (CV外) CVBD内	S	S <sub>s</sub>	一次	50/329	0.15	○
				一次+二次	227/418	0.54	○
			S <sub>1</sub>	一次	40/209	0.19	○
				一次+二次	150/418	0.36	○

※ 発生応力及び許容応力の単位はMPa

評価書に記載した評価結果

タイトル	制御用空気だめ他の腐食（全面腐食）に対する耐震安全性評価について																																																																																								
説明	<p>制御用空気だめの腐食（全面腐食）に対する評価の具体的内容を以下に示す。</p> <p>なお、基礎ボルトの大気接触部の腐食（塗装なし部）（全面腐食）を、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出しない根拠を添付ー3に示す。</p> <p>1. 評価仕様</p> <p>評価仕様を表 15-1 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 15-1 評価仕様</p> <table border="1" data-bbox="443 869 1310 1861"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>単位</th> <th>記号</th> <th>数値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>容器の有効運転質量 （容器充満時の質量）</td> <td>kg</td> <td><math>m_0</math></td> <td>4,002</td> </tr> <tr> <td>容器の空質量</td> <td>kg</td> <td><math>m_e</math></td> <td>3,925</td> </tr> <tr> <td>減肉後の胴の内径*</td> <td>mm</td> <td><math>D_i</math></td> <td>2,001.6</td> </tr> <tr> <td>減肉後の胴の板厚*</td> <td>mm</td> <td><math>t</math></td> <td>15.2</td> </tr> <tr> <td>胴のスカート接合点から 重心までの距離</td> <td>mm</td> <td><math>l</math></td> <td>936</td> </tr> <tr> <td>スカートの長さ</td> <td>mm</td> <td><math>l_s</math></td> <td>702</td> </tr> <tr> <td>最高使用圧力</td> <td>MPa</td> <td><math>P_r</math></td> <td>0.83</td> </tr> <tr> <td>評価温度</td> <td>°C</td> <td>—</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>設計引張強さ</td> <td>MPa</td> <td><math>S_u</math></td> <td>406</td> </tr> <tr> <td>評価用加速度（水平）</td> <td><math>m/s^2</math></td> <td><math>a_H</math></td> <td>9.43</td> </tr> <tr> <td>評価用加速度（鉛直）</td> <td><math>m/s^2</math></td> <td><math>a_V</math></td> <td>4.94</td> </tr> <tr> <td>胴板及びスカートの材質</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>SB410</td> </tr> <tr> <td>重力加速度</td> <td><math>m/s^2</math></td> <td><math>g</math></td> <td>9.80665</td> </tr> <tr> <td>スカートの内径</td> <td>mm</td> <td><math>D_s</math></td> <td>2,000</td> </tr> <tr> <td>スカートの厚さ</td> <td>mm</td> <td><math>t_s</math></td> <td>16.0</td> </tr> <tr> <td>胴の縦弾性係数</td> <td>MPa</td> <td><math>E</math></td> <td><math>2.01 \times 10^5</math></td> </tr> <tr> <td>スカートの縦弾性係数</td> <td>MPa</td> <td><math>E_s</math></td> <td><math>2.01 \times 10^5</math></td> </tr> <tr> <td>胴のせん断弾性係数</td> <td>MPa</td> <td><math>G</math></td> <td><math>7.73 \times 10^4</math></td> </tr> <tr> <td>スカートのせん断弾性係数</td> <td>MPa</td> <td><math>G_s</math></td> <td><math>7.73 \times 10^4</math></td> </tr> <tr> <td>スカートに設けられた開口 部の穴径</td> <td>mm</td> <td><math>D_1</math></td> <td>105.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>mm</td> <td><math>D_2, D_3, D_4</math></td> <td>200.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 内面に運転開始後 60 年時点での腐食量 0.8mm の一様減肉を想定</p>	項目	単位	記号	数値	容器の有効運転質量 （容器充満時の質量）	kg	$m_0$	4,002	容器の空質量	kg	$m_e$	3,925	減肉後の胴の内径*	mm	$D_i$	2,001.6	減肉後の胴の板厚*	mm	$t$	15.2	胴のスカート接合点から 重心までの距離	mm	$l$	936	スカートの長さ	mm	$l_s$	702	最高使用圧力	MPa	$P_r$	0.83	評価温度	°C	—	50	設計引張強さ	MPa	$S_u$	406	評価用加速度（水平）	$m/s^2$	$a_H$	9.43	評価用加速度（鉛直）	$m/s^2$	$a_V$	4.94	胴板及びスカートの材質	—	—	SB410	重力加速度	$m/s^2$	$g$	9.80665	スカートの内径	mm	$D_s$	2,000	スカートの厚さ	mm	$t_s$	16.0	胴の縦弾性係数	MPa	$E$	$2.01 \times 10^5$	スカートの縦弾性係数	MPa	$E_s$	$2.01 \times 10^5$	胴のせん断弾性係数	MPa	$G$	$7.73 \times 10^4$	スカートのせん断弾性係数	MPa	$G_s$	$7.73 \times 10^4$	スカートに設けられた開口 部の穴径	mm	$D_1$	105.3		mm	$D_2, D_3, D_4$	200.0
項目	単位	記号	数値																																																																																						
容器の有効運転質量 （容器充満時の質量）	kg	$m_0$	4,002																																																																																						
容器の空質量	kg	$m_e$	3,925																																																																																						
減肉後の胴の内径*	mm	$D_i$	2,001.6																																																																																						
減肉後の胴の板厚*	mm	$t$	15.2																																																																																						
胴のスカート接合点から 重心までの距離	mm	$l$	936																																																																																						
スカートの長さ	mm	$l_s$	702																																																																																						
最高使用圧力	MPa	$P_r$	0.83																																																																																						
評価温度	°C	—	50																																																																																						
設計引張強さ	MPa	$S_u$	406																																																																																						
評価用加速度（水平）	$m/s^2$	$a_H$	9.43																																																																																						
評価用加速度（鉛直）	$m/s^2$	$a_V$	4.94																																																																																						
胴板及びスカートの材質	—	—	SB410																																																																																						
重力加速度	$m/s^2$	$g$	9.80665																																																																																						
スカートの内径	mm	$D_s$	2,000																																																																																						
スカートの厚さ	mm	$t_s$	16.0																																																																																						
胴の縦弾性係数	MPa	$E$	$2.01 \times 10^5$																																																																																						
スカートの縦弾性係数	MPa	$E_s$	$2.01 \times 10^5$																																																																																						
胴のせん断弾性係数	MPa	$G$	$7.73 \times 10^4$																																																																																						
スカートのせん断弾性係数	MPa	$G_s$	$7.73 \times 10^4$																																																																																						
スカートに設けられた開口 部の穴径	mm	$D_1$	105.3																																																																																						
	mm	$D_2, D_3, D_4$	200.0																																																																																						

## 2. 評価モデル

制御用空気だめの構造概略図は図 15-1 に示すとおりである。この構造概略図を基に、評価モデルを図 15-2 に示すとおりの下端固定 1 質点系のモデルとして評価している。

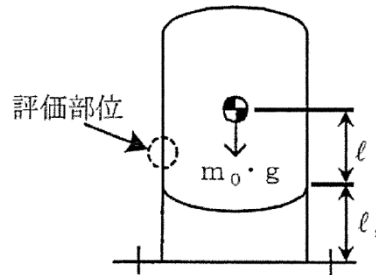


図 15-1 構造概要図

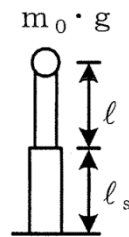


図 15-2 評価モデル

## 3. 固有周期

固有周期  $T$  は以下による。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K}} = 0.009 \text{ (s)}$$

ここで、曲げ及びせん断変形によるばね定数  $K$

$$K = \frac{1}{\frac{l^3}{3E \cdot I} + \frac{1}{3E_s \cdot I_s} (3l^2 \cdot l_s + 3l \cdot l_s^2 + l_s^3) + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{se}}}$$

$$= 1.938 \times 10^6 \text{ (N/mm)}$$

また、スカートに設けたマンホール等の開口部による影響を考慮した場合の、胴とスカートの断面性能（断面二次モーメント及び有効せん断面積）は以下のとおり。

胴の断面二次モーメント I

$$I = \frac{\pi}{8} (D_i + t)^3 t = 4.897 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$$

胴の有効せん断面積  $A_e$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi (D_i + t) t = 6.420 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

スカート断面二次モーメント  $I_s$

$$I_s = \frac{\pi}{8} (D_s + t_s)^3 t_s - \frac{1}{4} (D_s + t_s)^2 t_s \cdot Y = 4.000 \times 10^{10} (\text{mm}^4)$$

スカートの有効せん断面積  $A_{se}$

$$A_{se} = \frac{2}{3} \{ \pi (D_s + t_s) - Y \} t_s = 6.002 \times 10^4 (\text{mm}^2)$$

なお、スカート開口部の水平断面における最大円周長さ Y

$$Y = \sum_{j=1}^4 \left\{ (D_s + t_s) \sin^{-1} \left( \frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \right\} = 7.063 \times 10^2 (\text{mm})$$

#### 4. 胴の応力計算

胴の応力の算出過程を以下に示す。

##### 4.1 地震荷重

地震荷重は、制御用空気だめの耐震重要度に応じた S クラス地震荷重を適用する。

水平方向加速度  $a_H$  (添付-1 参照)

$$K_h(S_s) = 1.2ZPA = 1.2 \times 0.58 = 0.696 (\text{G}) = 6.83 (\text{m/s}^2)$$

$$3.6C_I = 0.962 (\text{G}) = 9.43 (\text{m/s}^2)$$

以上より  $a_H = 3.6C_I = 9.43 (\text{m/s}^2)$

鉛直方向加速度  $a_V$  (添付-2 参照)

$$K_v(S_s) = 1.2ZPA = 1.2 \times 0.42 = 0.504 (\text{G}) = 4.94 (\text{m/s}^2)$$

$$1.2C_v = 0.288 (\text{G}) = 2.82 (\text{m/s}^2)$$

以上より  $a_V = K_v(S_s) = 4.94 (\text{m/s}^2)$

#### 4.2 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r(D_i+1.2t)}{2t} = 55.147 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r(D_i+1.2t)}{4t} = 27.573 \text{ (MPa)}$$

#### 4.3 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境とし、下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

$$\sigma_{x2} = \frac{(m_0 - m_e) \cdot (g + a_V)}{\pi (D_i + t)t} = 0.012 \text{ (MPa)}$$

#### 4.4 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により、胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x3} = \frac{4m_0 \cdot a_H \cdot \ell}{\pi (D_i + t)^2 t} = 0.727 \text{ (MPa)}$$

$$\tau = \frac{2m_0 \cdot a_H}{\pi (D_i + t)t} = 0.784 \text{ (MPa)}$$

#### 4.5 組合せ応力

4.2～4.4によって求めた胴の応力を以下のように組み合わせる。

##### (1) 一次一般膜応力

周方向応力  $\sigma_{\phi}$

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} = 55.147 \text{ (MPa)}$$

軸方向応力  $\sigma_x$

$$\sigma_x = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} = 28.312 \text{ (MPa)}$$

組合せ応力  $\sigma_1$

組合せ応力は、周方向応力  $\sigma_{\phi}$ 、軸方向応力  $\sigma_x$  及びせん断応力  $\tau$  を組み合わせて求める。

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_x + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_x)^2 + 4\tau^2} \right\} \\ &= 56 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

(2)一次応力

一次応力は，一次一般膜応力と同じになるため省略する。

以上より，制御用空気だめの発生応力は56MPaと算出した。

5. 評価結果

評価結果を表15-2に示す。制御用空気だめの内面に減肉を考慮しても，地震時の発生応力は許容応力を超えることはなく，耐震安全性評価上問題ない。

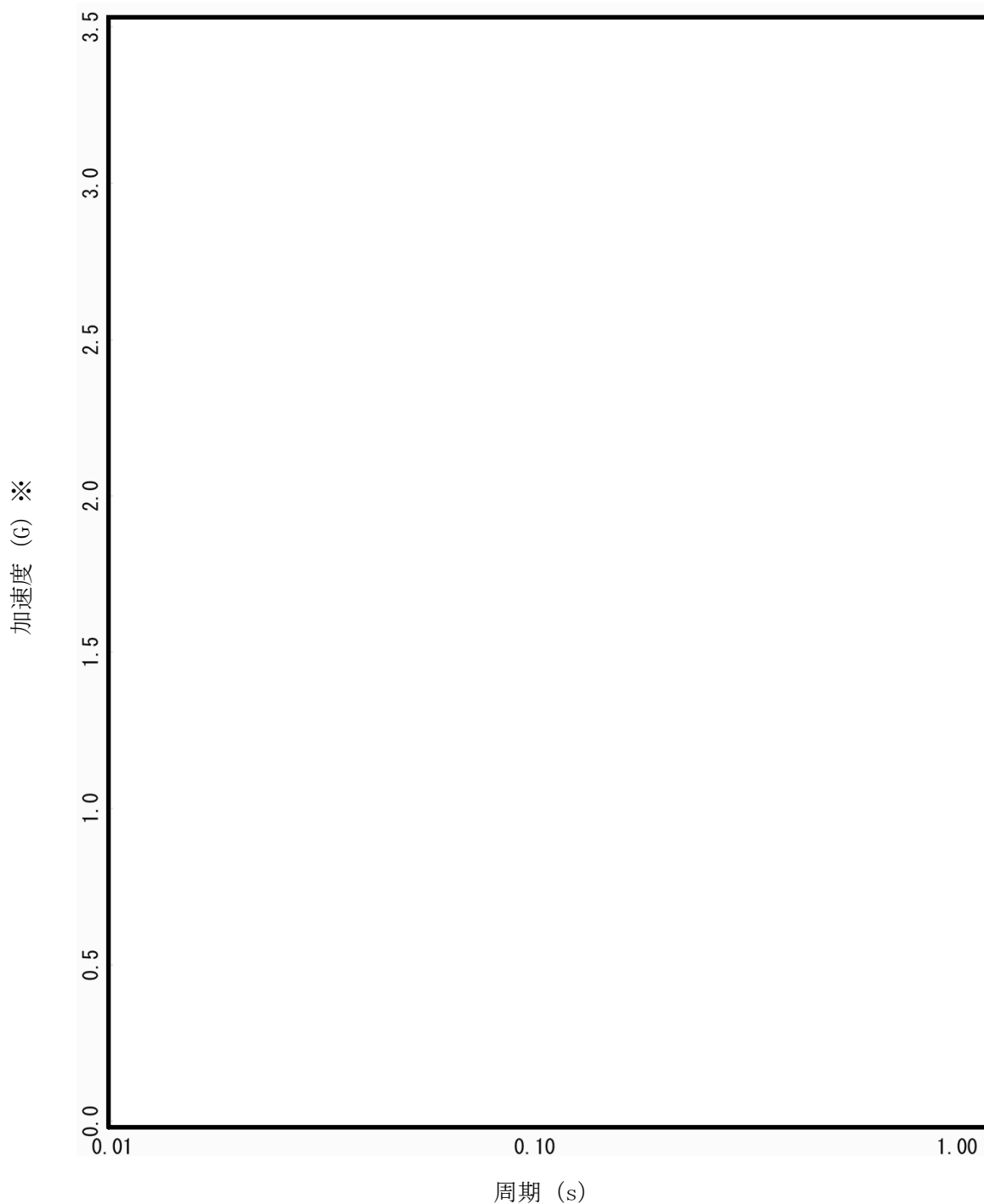
表15-2 制御用空気だめの腐食（全面腐食）に対する評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)	許容応力※ (MPa)	応力比
制御用空気だめ	56	243	0.23

※ 設計・建設規格付録材料図表Part5表9より求まる値

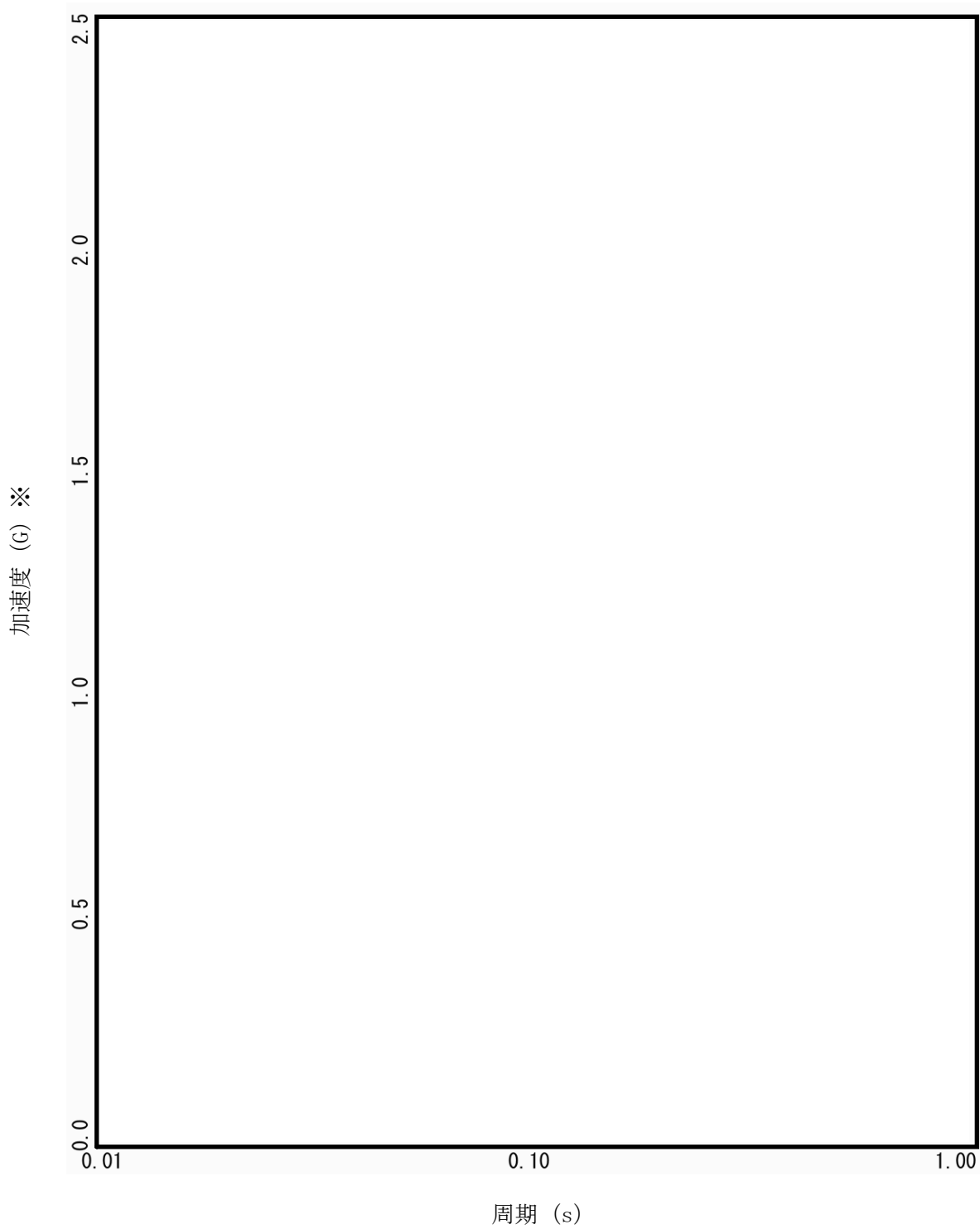
以 上

制御用空気だめ (原子炉建屋 EL. 10.3m)  
S<sub>s</sub>地震動 水平方向床応答曲線図 (減衰 1%)



※ $G=9.80665\text{m/s}^2$

制御用空気だめ (原子炉建屋 EL. 10.3m)  
S<sub>s</sub>地震動 鉛直方向床応答曲線図 (減衰1%)



※G=9.80665m/s<sup>2</sup>



基礎ボルトの大气接触部の腐食（塗装なし部）（全面腐食）を耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出しない根拠について

追而

タイトル	バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが抽出されない理由について
説明	<p>バッフルフォーマボルトの耐震安全性評価を不要とした理由を以下に記す。</p> <p>バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として、経年劣化に対する評価が必要であるため、原子力安全基盤機構「平成 20 年度 照射誘起応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書」で得られた最新知見を用いて評価した。</p> <p>その結果、運転開始後 60 年時点でのボルトの損傷本数は 0 本となり安全に関わる機能を維持できることから、炉心の健全性に影響を与える可能性は小さいと考えられること、また、本事象は冷温停止状態では進展することはないことから、問題となる可能性はないと考えられる。</p> <p>従って、バッフルフォーマボルトの損傷を想定する必要はなく、本経年劣化による耐震安全性評価の条件が変わることがないことから、バッフルフォーマボルトは耐震安全性評価書 (3.7.3 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象) にて、「中性子照射量等をもとに、発生可能性を評価した結果、照射誘起型応力腐食割れの発生の可能性は小さい」として、「現在発生しておらず、今後も発生の可能性がないもの、又は小さいもの」と判断し、耐震安全性評価不要としている。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>